Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 8526F

Système de transmission de données sur fibres optiques pour utilisations marines

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

par
Focal Marine Limited

AVRIL 1987

Canada

TP 8526F

SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES SUR FIBRES OPTIQUES POUR UTILISATIONS MARINES

par

G.A.J. Smith, J.W. Snow et J.S. Mayich

Focal Marine Limited

Avril 1987

89-06083/

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des Transports, Transports Canada.

Also available in English under the title: "Development and Testing of a Fibre Optic Data System for Marine Transportation", TP 8526E.

Transports Canada / Transport Canada
Développement / Development

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 8526F	6297	

4. Titre et sous-titre
Système de transmission de données sur fibres optiques pour utilisations marines

5. Date du rapport
Avril 1987

6. N° du rapport de l'organisme exécutant
78601

7. Auteur(s)
Graham A.J. Smith, James W. Snow et John S. Mayich

8. N° de dossier — Transports Canada
D 1460-198-2

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant
Focal Marine Limited
1378 Bedford Highway
Bedford (Nouvelle-Écosse)
B4A 1E2

10. N° de dossier — ASC
07SC.T89200-4-4544

11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada
1SC84-00404

12. Nom et adresse de l'organisme parrain
Centre de développement des transports (CDT)
200 ouest, boul. René-Lévesque
Tour ouest, suite 601
Montréal (Québec) H2Z 1X4

13. Genre de rapport et période visée
Sommaire, oct. 84 — avril 87

14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles
Rapport sommaire de "Development and Testing of a Fibre Optic Data System for Marine Transportation", TP 8469E, avril 1987.

16. Agent de projet — CDT
Micha Avni

17. Résumé

L'objectif de cette recherche a été de définir des normes concernant les utilisations marines des câbles à fibres optiques. Afin d'acquérir l'expérience nécessaire, un système pilote de transmission de données vidéo-alphanumériques a été conçu, réalisé et installé à bord d'un brise-glace.

La méthode de mesurage des performances a été triple : taux d'erreurs dans la transmission des données numériques, puissance optique à la réception et qualité de la visualisation. Des contrôles de puissance et de réflectivité ont été faits avant et après les essais en mer, aux fins de mettre en évidence l'influence des facteurs d'environnement.

Les résultats ne dégagent aucune corrélation entre paramètres optiques et paramètres d'environnement : écarts de température, niveaux vibratoires, pas plus qu'entre différents types de câbles. Certaines faiblesses ont été mises en évidence au niveau de la conception et de la sélection des composants.

L'appareillage à fibres optiques a bien fonctionné. Un ensemble de normes provisoires a été rédigé; il pourra servir de guide aux transporteurs maritimes souhaitant tirer parti de cette technologie.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Fibres optiques, utilisations marines, normes.	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
non classifié	non classifiée	v, 16	—

Transport Canada / Transports Canada
Development / Développement

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 8526F	6297	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Système de transmission de données sur fibres optiques pour utilisations marines	April 1987
	6. Performing Organization Report No. 78601
7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Graham A.J. Smith, James W. Snow et John S. Mayich	D 1460-198-2
9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Focal Marine Limited 1378 Bedford Highway Bedford, Nova Scotia B4A 1E2	07SC.T89200-4-4544
	11. DSS or Transport Canada Contract No. 1SC84-00404
12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre 200 René Lévesque Blvd. West West Tower, Suite 601 Montreal, Quebec H2Z 1X4	Summary, Oct. 84 — April 87
	14. Sponsoring Agency Code
15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "Development and Testing of a Fibre Optic Data System for Marine Transportation", TP 8469E, April 1987.	Micha Avni

17. Abstract

The purpose of this project was to draft standards for the shipboard use of fibre optics. To gain the necessary experience, a pilot data and video system was designed and installed on an icebreaker.

The method of measuring system performance was through digital bit error rate, optical power and video quality. Power and reflectometer checks before and after sea trials also served to show environmental dependencies.

The results showed no correlation between optical performance and environmental parameters (high and low temperatures, vibrations) or cable type. Certain weaknesses were highlighted in component design and selection.

In conclusion, the fibre optic system performed well. A set of draft standards was produced which can serve as a guide to allow marine shipping interests to take full advantage of the benefits of this technology.

18. Key Words	19. Distributionn Statement
Fibre optics, shipboard, marine standards.	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	v, 16	—

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

2. MÉTHODE D'EXÉCUTION 2

3. TOPOLOGIE DU SYSTÈME 3

4. CHOIX DES CONSTITUANTS 6

5. PROCÉDURE DES ESSAIS 7

6. RÉSULTATS 8

7. AUTRES CONSTATATIONS 13

8. SPÉCIFICATIONS 14

9. CONCLUSIONS 15

10. RECOMMANDATIONS 16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Topologie du système 4

Figure 2 Configuration du centralisateur de données 5

Figure 3 Variations de la puissance lumineuse en fonction des vibrations 10

Figure 4 Variations de la puissance lumineuse en fonction de la température 11

Figure 5 Graphiques durant une occurrence d'erreur 12

1. INTRODUCTION

La technologie des fibres optiques appliquée à bord des navires ouvre la voie à des communications améliorées, à une automatisation plus aisée des salles de machines et à des télécommandes insensibles aux perturbations électromagnétiques et climatiques. Mais avant que l'industrie du transport maritime au Canada ne puisse se décider à remplacer le cuivre par les fibres optiques pour les systèmes de transmission à l'intérieur des navires, elle doit commencer par en connaître les particularités, sous forme de spécifications fondées sur des essais in situ.

Dans la perspective d'une utilisation de plus en plus poussée des fibres optiques à bord, le gouvernement du Canada, par l'entremise du Centre de développement des transports, a confié à la Focal Marine Limited la tâche de réaliser et d'évaluer une installation pilote construite autour d'une liaison opto-électronique pour utilisations marines, et aussi celle d'élaborer des spécifications fondées sur les résultats de cette expérimentation. Le but de ce projet pilote était de mettre en évidence les avantages des fibres optiques en vue d'une sécurité et d'une efficacité accrues des transports maritimes.

Avant le projet pilote, on savait très peu de chose sur le comportement des fibres optiques en milieu marin et sur les écueils que poserait l'application de cette technologie dans un domaine aussi particulier. De même, aucune spécification n'était disponible pour guider le concepteur dans ses choix, d'où un retard dans l'adoption des fibres optiques malgré tous les avantages qu'elles offrent : insensibilité aux bruits, grande bande passante, absence de courts-circuits et d'étincelles, caractéristiques intéressantes de poids et d'encombrement et résistance à la corrosion et aux extrêmes de température.

2. MÉTHODE D'EXÉCUTION

Plusieurs voies ont été suivies afin de réaliser les objectifs fixés à la recherche. Pour trouver les meilleures applications de cette technologie aux transports maritimes, un certain nombre de navires de la Garde côtière canadienne dans les Maritimes et un navire dans la région des Laurentides ont été étudiés sous cet angle particulier. Les résultats de cette étude ayant servi par la suite à la conception de l'installation pilote à réaliser.

L'objectif fixé à cette installation pilote était de fournir de l'information utile pour la conception, la pose, l'essai et la mise en oeuvre de systèmes de transmission sur fibres optiques, utilisables à bord de navires et sur laquelle asseoir l'élaboration de spécifications appropriées. Le système a été conçu afin de permettre l'utilisation d'une large gamme d'éléments composants provenant de différents fournisseurs, dans le but d'élargir le plus possible la portée de l'expérimentation.

L'élaboration des spécifications concernant les fibres optiques pour utilisations marines s'est inspirée de plusieurs sources : utilisations marines de liaisons autres que sur fibres optiques; liaisons opto-électroniques pour usages terrestres, liaisons militaires et données fournies par des fabricants et des utilisateurs civils de constituants et d'accessoires optiques. Toute cette documentation, une fois compilée et mise en forme, a débouché sur un ensemble de spécifications provisoires visant les utilisations marines de la technologie actuelle des fibres optiques.

Le choix du navire à bord duquel la liaison pilote devait être installée a été mûrement réfléchi. Le brise-glace *Louis St-Laurent* a été choisi pour plusieurs raisons, toutes reliées à l'environnement : température et degré d'humidité élevés dans la salle de machines inférieure; perturbations électromagnétiques intenses dans la salle du turbo-alternateur, températures très basses dans les parties exposées du navire en navigation arctique et, enfin, extrêmes de vibrations et de charge dynamique, durant les opérations de déglaçage, par exemple.

3. TOPOLOGIE DU SYSTÈME

Des trois types de réseau en présence : bus, réseau en anneau et réseau en étoile, c'est ce dernier qui a été retenu à cause de sa configuration plane qui s'ajuste le mieux à celle que représente normalement un navire et qui, en plus, permet une répartition relativement régulière du flux énergétique tout en se prêtant à une extension future. Un réseau en étoile est soit transmissif, soit réflectif. Et bien que dans un réseau transmissif la quantité de fibres nécessaires soit le double de celle requise pour un réseau réflectif qui en plus est bidirectionnel, il a quand même été choisi parce qu'il est moins déperditif en énergie d'où un budget énergétique moins exigeant. La topologie retenue est schématisée à la figure 1.

Le caractère passif d'un réseau transmissif en étoile débouche sur une fiabilité relativement élevée, la défaillance d'une station ne gênant d'aucune manière le fonctionnement des autres stations.

La topologie retenue permet de faire porter deux voies par une même fibre, une voie de transmission numérique et une de vidéocommunications, se distinguant par la longueur d'onde. La séparation spectrale est accomplie grâce au multiplexage en longueur d'onde utilisant des filtres optiques.

Les stations interconnectées se trouvaient sur la passerelle, dans la salle de machines inférieure et dans la salle de commande des machines. Elles ont été choisies, d'une part, parce que les câbles s'y trouvent plongés dans un environnement extrêmement dur, utile aux fins des essais et, d'autre part, à cause de leur éloignement respectif nécessitant la mise en place de grandes longueurs de câble.

Deux modes de fonctionnement ont été prévus pour la transmission numérique : interconnexion avec un câble normalisé IEEE 488 et liaison point à point double avec un centralisateur de données. Le premier a été utilisé pour mettre en évidence l'aptitude des fibres optiques à se prêter à une application type donnée (le câble IEEE 488 a été prescrit dans la spécification originale faite pour le brise-glace *Polar 8*).

Mais c'est le second mode de fonctionnement, centralisateur de données, qui a surtout servi durant les essais. Les indicateurs de performance du système, soit la puissance lumineuse et le taux d'erreurs dans la transmission numérique, ont été enregistrés à intervalles réguliers, ainsi que les facteurs d'environnement significatifs. Des câbles de structure différente ont été prévus pour chacune des interconnexions pour mieux cerner les caractéristiques exigées des câbles dans le milieu particulier d'un navire.

Le câblage du centralisateur de données est schématisé à la figure 2. Faisant contraste à l'évaluation de la transmission numérique qui a été objective, celle de la transmission vidéo a été subjective, cette dernière ayant été prévue à cause de ses avantages immédiats et aussi dans le but d'élargir la gamme des constituants entrant dans la composition de la liaison opto-électronique.

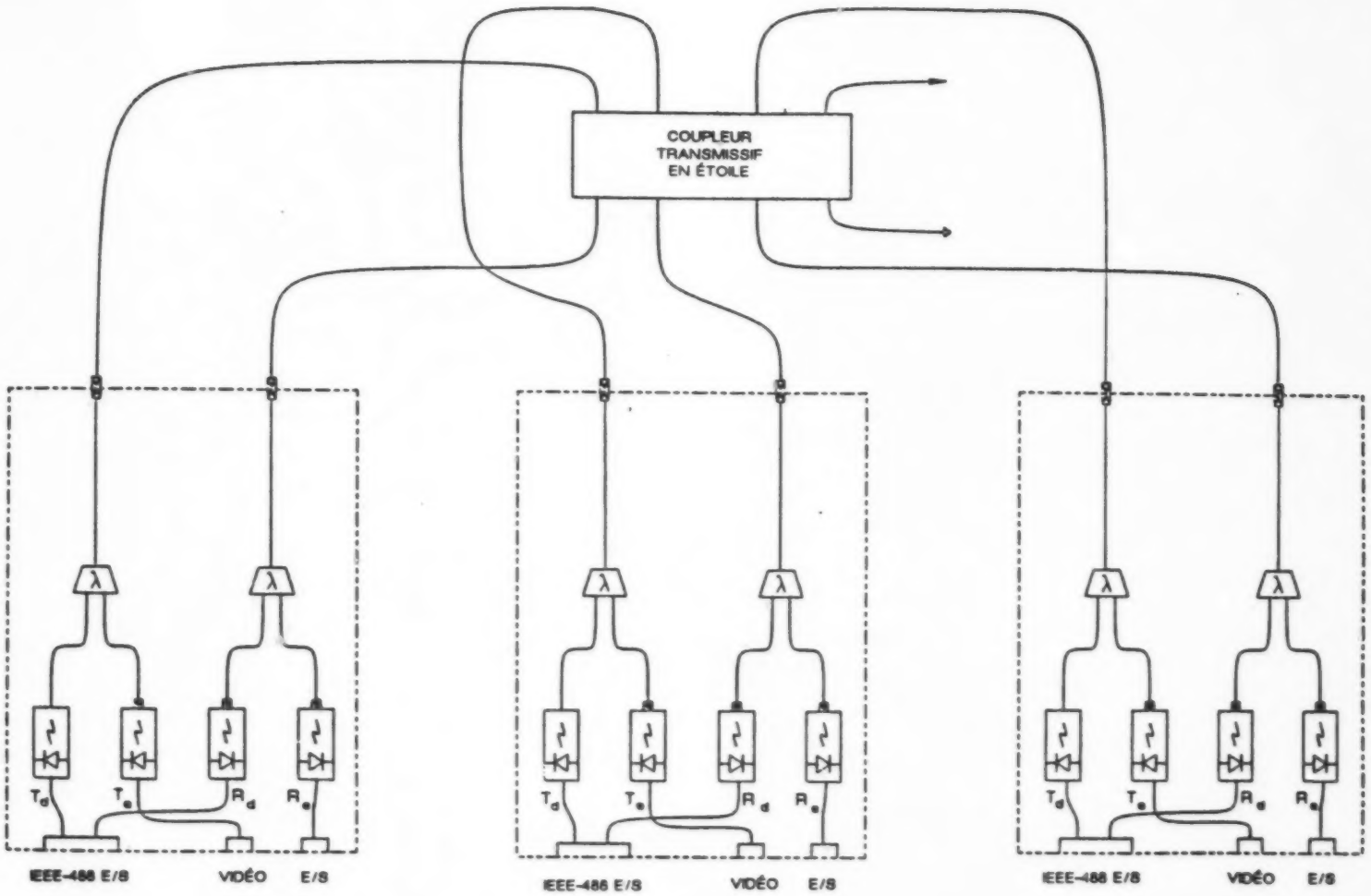

Figure 1 Topologie du système

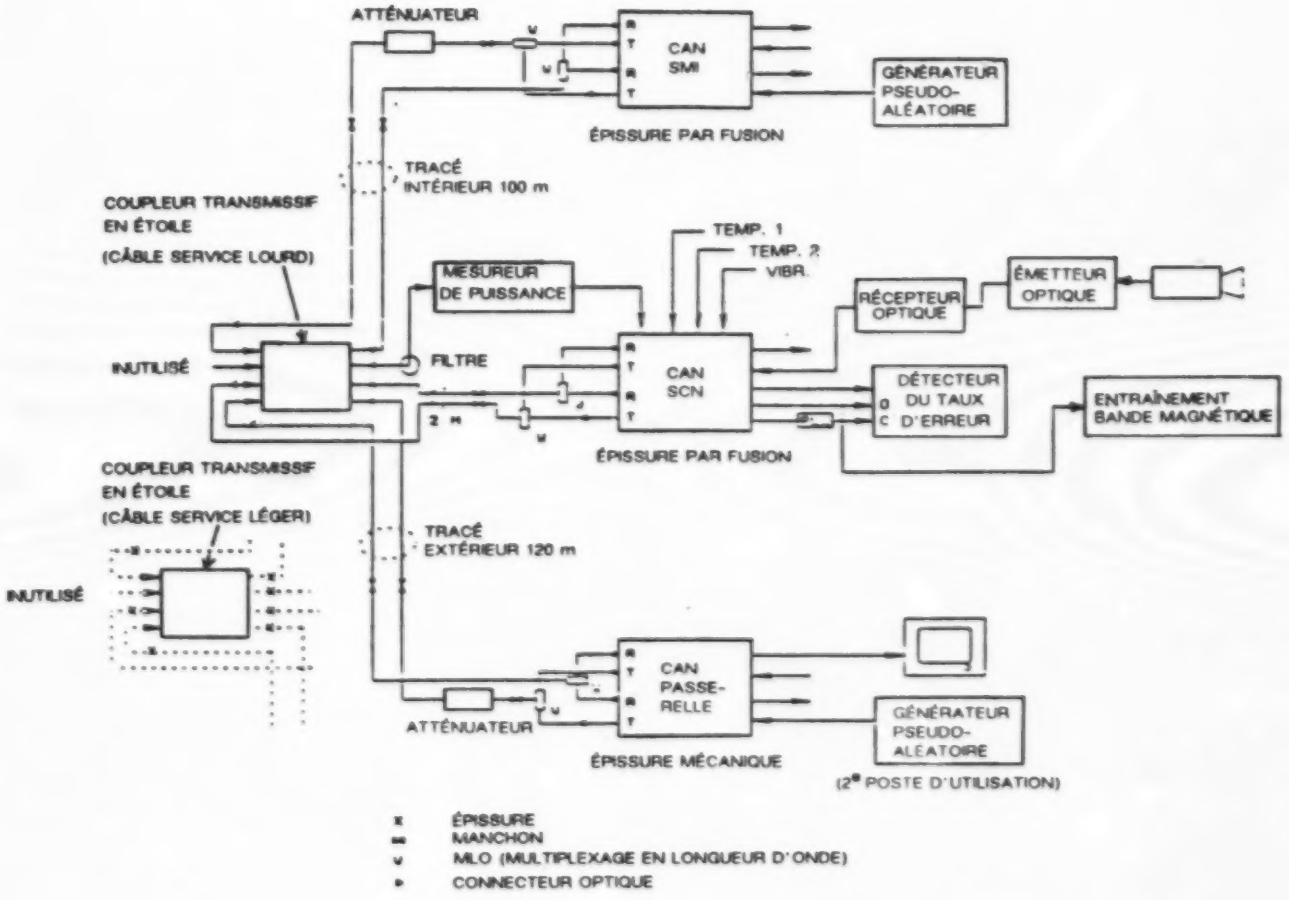

Figure 2 Configuration du centralisateur de données

4. CHOIX DES CONSTITUANTS

Le choix des constituants a été dicté tant par la topologie retenue pour la liaison optique que par la volonté de caractériser divers modèles provenant de plusieurs fabricants.

Les principaux constituants de la liaison ont été les stations du réseau, les câbles de fibres optiques, les connecteurs optiques, les appareils de multiplexage et de démultiplexage en longueur d'onde et, enfin, les coupleurs en étoile.

Comme station, on a choisi le Seimac Data Highway parce qu'il satisfait à toutes les exigences techniques et aussi parce que son intégration à l'interface optique a pu être facilitée grâce à d'étroits rapports entre les intervenants. De plus, sa fiabilité dans les utilisations marines avait déjà été amplement mise en évidence.

Un devis estimatif a été demandé à un grand nombre de fabricants de câbles en ce qui concerne deux types de câbles : un câble faiblement blindé contre les perturbations du milieu environnant et un autre fortement blindé contre elles. Un câble blindé, comportant un écran humidifuge et fabriqué sur mesure par Whitmor Waveguides a été choisi, de même qu'un câble pour vide technique fabriqué par Siecor Corporation n'ayant ni blindage extérieur ni protection contre l'humidité et donc considéré comme câble pour service léger.

Pour les émetteurs et les récepteurs devant opérer aux longueurs d'onde de 820 et de 1 300 Nm, les diodes électroluminescentes (DEL) ont été choisies de préférence aux diodes laser à cause de leur plus grande fiabilité et de leur coût moindre. Au moment où la commande avait été placée, peu nombreux étaient les fournisseurs aptes à fournir des DEL à longueur d'onde élevée ayant la marge énergétique voulue. Il a donc fallu travailler en étroite collaboration avec le fournisseur choisi, Meret Incorporated, pour mettre au point un ensemble émetteur-récepteur donnant satisfaction, de même que pour étudier un ensemble émetteur-récepteur pour la liaison vidéo opérant à faible longueur d'onde, qui tienne compte du facteur de compensation thermique.

Une troisième liaison optique devait être prévue pour la transmission vidéo entre la caméra placée au sommet de la salle de commande du treuil et la salle de machines. Les produits aptes à cette fonction étaient nombreux. L'ensemble choisi a été celui mis au point par Optelecom à cause de la facilité de son intégration au circuit de transmission de la caméra. Le connecteur optique choisi a été le SMA (subminiature type A), retenu parmi un grand nombre de modèles proposés par plusieurs fournisseurs parce qu'il est très répandu sur le marché, accepté par l'industrie des fibres optiques et compatible. Des connecteurs de deux provenances différentes ont été utilisés aux fins de caractérisation sur les plans des performances et de l'interchangeabilité.

Enfin, parmi les coupleurs en étoile et les appareils de multiplexage et de démultiplexage en longueur d'onde (MLO) de qualité égale proposés par plusieurs fournisseurs, ce furent ceux fabriqués par Canstar Communications et JDS Optics, deux entreprises canadiennes, qui furent choisis respectivement.

Il y a eu plusieurs défaillances isolées : rupture d'un flexible d'émetteur; oscillations dans le récepteur dues à la chaleur humide régnant dans la salle de machines inférieure; atténuation progressive de la puissance à la sortie de l'émetteur dans les endroits chauds, forte augmentation des pertes dans l'épissure mécanique, toutes des défaillances qui seront éliminées dans une liaison opérationnelle, mais qui ont servi à mettre en évidence les points faibles à surveiller.

6. RÉSULTATS

Tous les principaux constituants ont été soumis à des essais d'acceptation pour en vérifier la conformité aux exigences et aussi pour fournir une base de comparaison avec les essais ultérieurs qui seront menés pour déceler toute dégradation éventuelle des performances.

Une fois l'installation terminée, la caractérisation de la liaison opto-électronique a commencé : puissance lumineuse des émetteurs, affaiblissements d'insertion, diaphonie et isolement optiques, signatures de rétrodiffusion dans le domaine temporel des câbles et diagrammes de l'oeil des liaisons numériques. La qualité de l'image a servi d'indicateur de performance du système de transmission vidéo.

Des essais de contrôle de fonctionnement par rapport à la norme IEEE 488 ont également été menés pour déterminer le rendement, les temps de réponse et la qualité des communications inter-réseaux.

À l'issue de l'acceptation du système installé, les essais en mer ont commencé. Mais, en raison d'un incendie dans une des salles de machines, le navire n'a pas pu appareiller à la date prévue, de sorte que quelques-uns des essais en mer ont eu lieu à quai. La distinction entre "à quai" et "en mer" a été marquée sur les résultats étant donné que les conditions sont moins rigoureuses dans le premier cas que dans le second.

Durant les essais en mer, le tracé actif (entre la salle de machines inférieure et la salle de commande des machines, ou entre la passerelle et cette dernière), le câble actif (type service léger ou service lourd) et le niveau du flux énergétique ont été variés selon un programme pré-établi.

Le paramètre de caractérisation le plus important durant les essais en mer a été le taux d'erreur dans la transmission numérique. On s'est servi d'un générateur de nombres pseudo-aléatoires pour obtenir des séries de nombres, et d'un appareil de mesure du taux d'erreur pour avoir les statistiques correspondantes. Tous ces résultats, ainsi que la puissance lumineuse à la grande longueur d'onde et divers paramètres d'environnement ont été enregistrés par le centralisateur de données. Ces derniers, comprenant deux grandeurs thermiques et une vibratoire, visaient à donner une indication relative des conditions à bord plutôt qu'à fournir des valeurs absolues.

Les enregistrements se faisaient une fois par heure et chaque fois qu'une occurrence d'erreurs provoquait une perte de synchronisme dans le détecteur d'erreurs. Les grandeurs mesurées une fois par heure ont été les lectures maximale et minimale des capteurs et la lecture à heure fixe. Les enregistrements en cas d'erreur comprenaient toutes les lectures à intervalles de dix secondes au cours des cinq minutes précédant l'occurrence et des cinq minutes la suivant. Ces données ont été par la suite dépouillées pour déceler une corrélation éventuelle entre paramètres optiques et paramètres d'environnement, voir les figures 3 et 4. La figure 5 présente un graphique typique de l'ensemble des paramètres mesurés lorsqu'il y avait occurrence d'erreurs.

À l'issue des essais en mer, d'autres essais ont été faits pour connaître l'effet à plus long terme de l'environnement à bord du navire sur la liaison opto-électronique et ses constituants. À cet effet, quelques-uns des tests antérieurs ont été repris, comme le mesurage de la rétrodiffusion dans le domaine temporel, de la puissance lumineuse et des affaiblissements d'insertion.

Les résultats n'ont montré aucune corrélation entre les paramètres optiques (taux d'erreur) et les paramètres d'environnement : températures intérieure et extérieure et vibrations, même pas lorsque le câble léger était soumis à des cycles de gel-dégel.

5. PROCÉDURE DES ESSAIS

La procédure des essais mise au point a visé le double objectif d'acquérir de l'expérience dans la conception de liaisons opto-électroniques pour utilisations marines, dans l'installation et l'utilisation de celles-ci, et de fournir le fondement technique sur lequel asseoir la spécification proposée concernant ce type de liaisons.

La procédure prévoyait donc :

- l'acceptation des constituants,
- l'essai des ensembles principaux et des sous-systèmes,
- les essais d'environnement,
- les essais après installation,
- les essais à quai,
- les essais en mer,
- les essais à long terme.

Les paramètres pris en compte lors de la caractérisation du système ont été :

- le taux d'erreur dans la transmission numérique,
- la qualité de la transmission vidéo,
- le fonctionnement du bus de données par rapport aux critères de performance IEEE 488,
- les variations de la puissance lumineuse sous l'influence de divers facteurs d'environnement.

Lors des essais à quai et en mer, il y a eu plusieurs variables contrôlées, comme la puissance lumineuse, le type du câble actif et la liaison active. Afin de simuler une dégradation de la liaison, le système a été mis à fonctionner à des puissances lumineuses réduites.

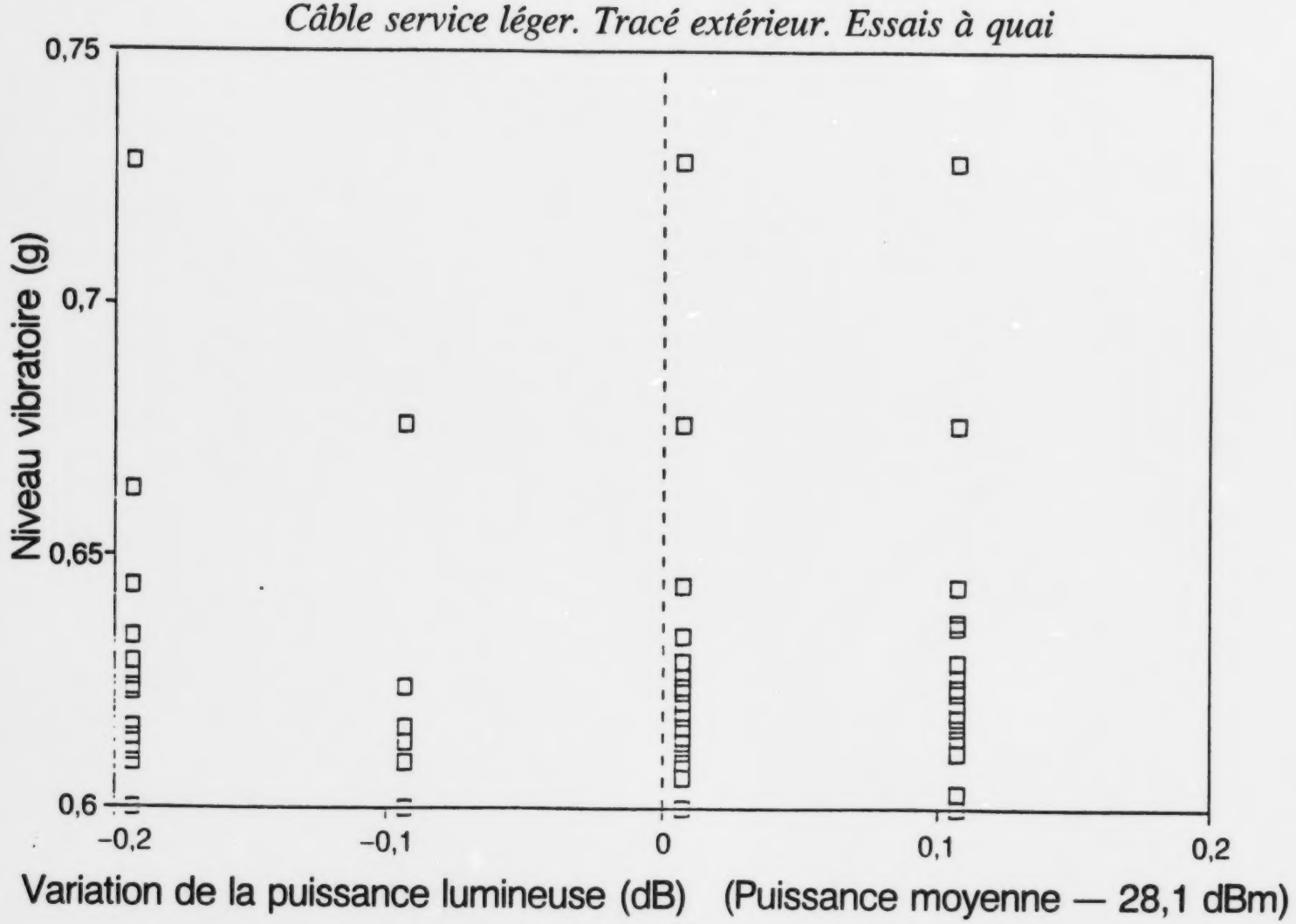

Figure 3 Variations de la puissance lumineuse en fonction des vibrations

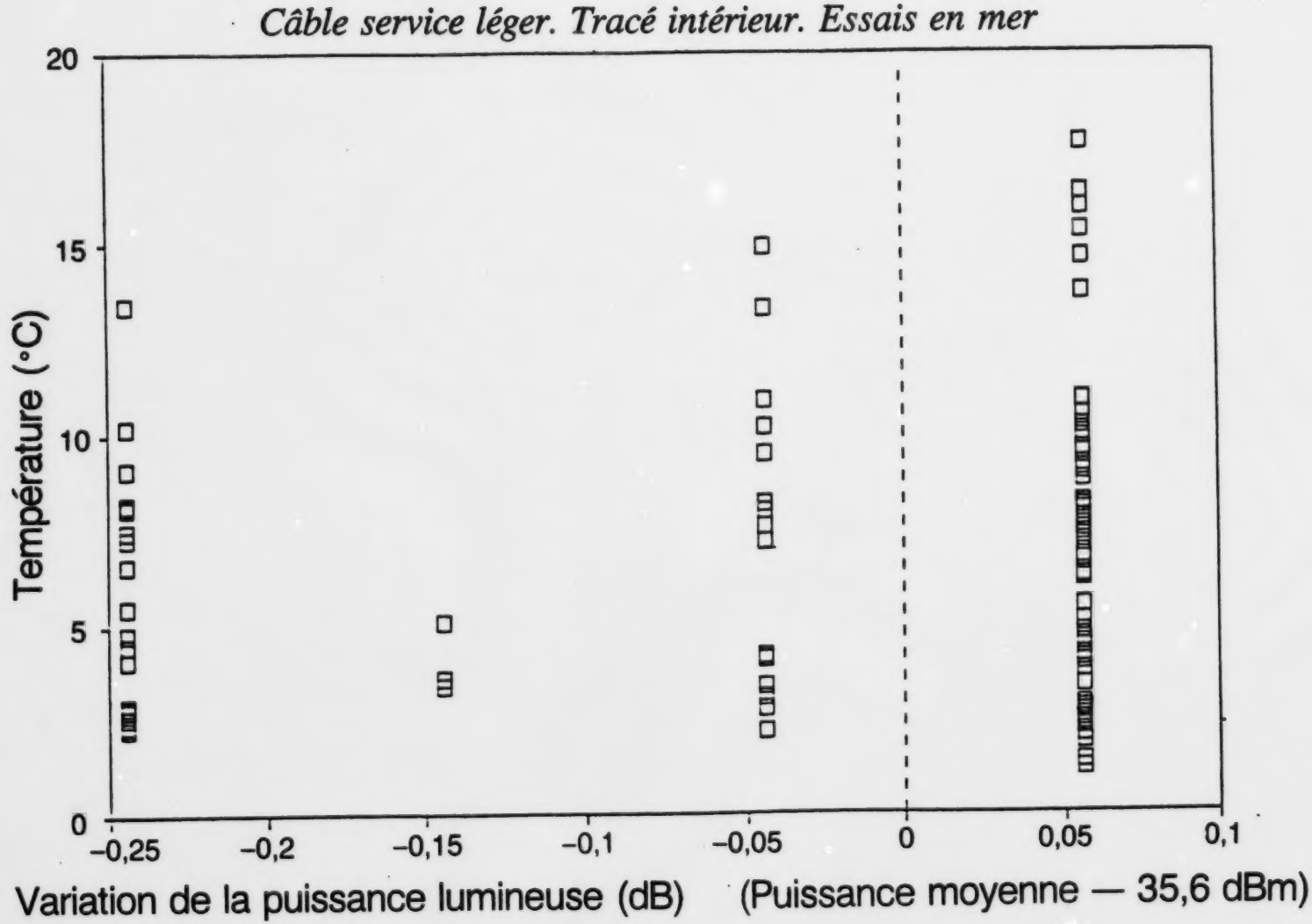

Figure 4 Variations de la puissance lumineuse en fonction de la température

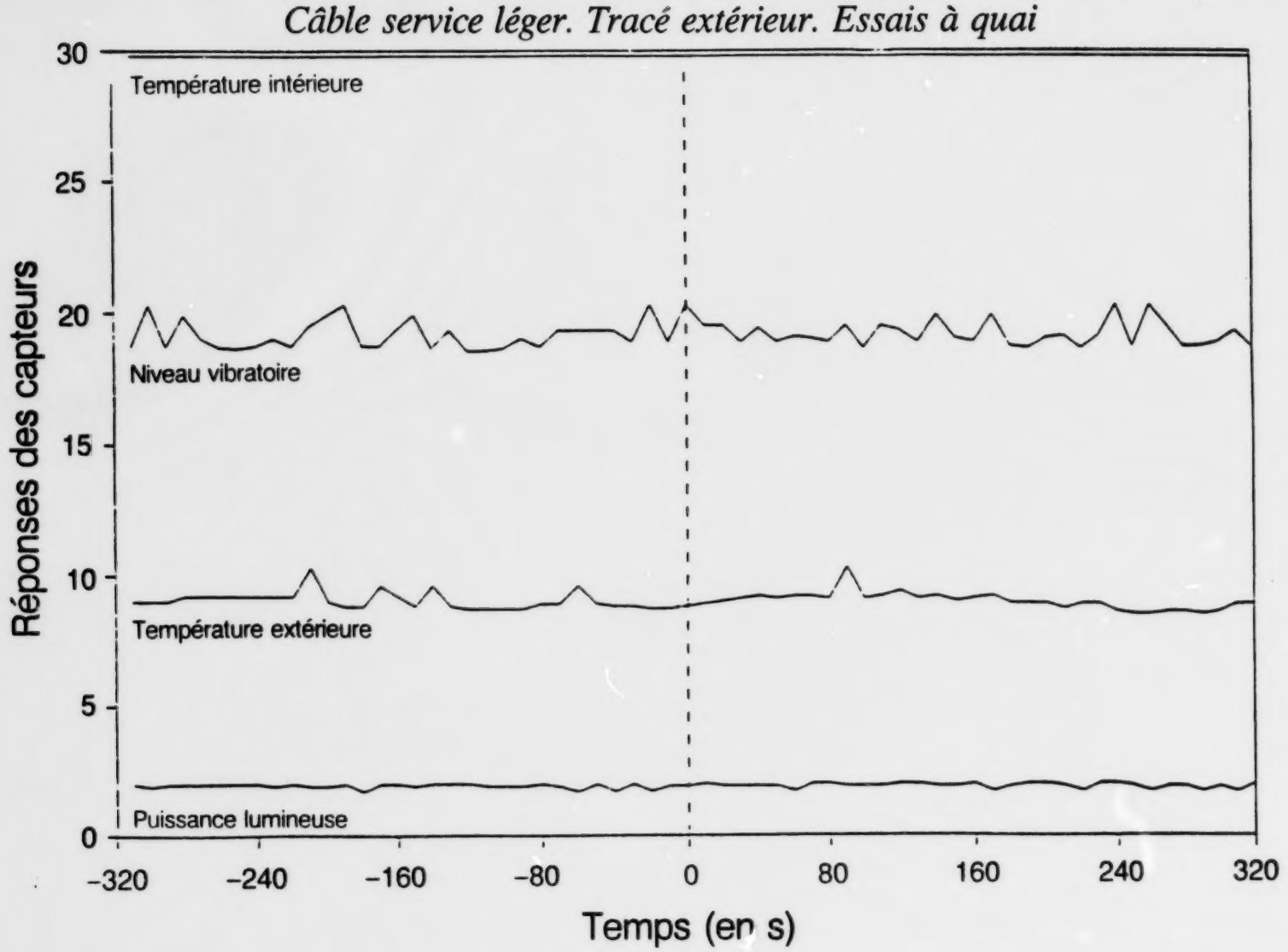

Figure 5 Graphiques durant une occurrence d'erreur

7. AUTRES CONSTATATIONS

L'installation et la vérification de la liaison opto-électronique ont mis en évidence quelques-unes des singularités des fibres optiques qui méritent qu'on s'y attarde.

Le polissage des connecteurs SMA a produit un pourcentage anormalement élevé de polis inacceptables aux extrémités des fibres. La recherche a montré qu'ils résultaient d'un problème intrinsèque aux fibres de calibre 100/140 micromètres. En effet, en voulant optimiser les performances optiques des fibres de ce calibre (ouverture numérique et bande passante), les fabricants ont modifié la composition chimique des fibres sans penser qu'elles deviendraient vulnérables aux fissures d'extrémité en cours de polissage. Les fabricants ont dû mettre au point de nouvelles techniques de polissage adaptées à ces fibres à grand diamètre de coeur qui conviennent bien aux utilisations marines, étant donné que leur couplage aux sources optiques est plus aisé, ainsi que leur raccordement.

Le montage-démontage répété des connecteurs SMA entre eux, inévitable durant les phases de mise en oeuvre et d'essai des câbles optiques, a montré que les manchons Delrin utilisés pour mettre en contact les connecteurs avaient tendance à se distendre à l'usage, entraînant des pertes à l'injection accrues. Il est donc recommandé, sur la foi de cette constatation et d'essais plus poussés, que les manchons soient périodiquement remplacés afin de minimiser ce genre de pertes.

L'utilisation de connecteurs SMA provenant de fournisseurs différents et que l'on avait cru au début compatibles entre eux, produit des affaiblissements d'insertion plus forts que si les connecteurs sont d'une même fabrication. Il est donc recommandé, lorsqu'on veut éviter des affaiblissements plus forts que prévus, d'utiliser des connecteurs ainsi que des manchons de raccordement d'une même provenance.

Pour le raccordement des connecteurs aux fibres optiques, diverses résines époxydiques ont été essayées : viscosité faible, réticulation lente; viscosité moyenne, réticulation lente; viscosité élevée, réticulation rapide. Lorsque le temps n'est pas un facteur contraignant, il est préférable d'utiliser une résine à réticulation lente et à viscosité moyenne (2 250 centipoises-seconde, après mélange). Elle permet une injection aisée à l'aide d'une seringue et elle ne coule pas de façon indue en attendant qu'elle prenne. Lorsque les résines sont colorées, le polissage en est rendu plus aisé.

Lorsqu'un câble ne renferme pas un élément métallique de support et qu'il n'est donc pas autoporteur, des techniques soignées de pose et de fixation doivent être mises en oeuvre. Dans le cas d'un câble à structure libre, il faut éviter les longues portées verticales susceptibles de soumettre les fibres à des forces de traction ou de compression indues, provoquées par les mouvements latéraux des fibres sous l'effet de leur propre poids.

L'absence d'une documentation concernant la pose des câbles à fibres optiques à bord de navires a nécessité une description détaillée des techniques de pose qui se sont révélées efficaces et pratiques à l'usage. Ces techniques ont porté entre autres sur le tirage et le lovage des câbles, les dispositifs de fixation et les précautions à prendre.

Il été constaté que la propreté est un facteur impérieux. L'omission de nettoyer à fond un seul des connecteurs, là où les fibres sont mises en contact, peut entraîner une perte supplémentaire de 2 dB.

8. SPÉCIFICATIONS

Pour répondre à l'un des objectifs essentiels du projet pilote, un ensemble de spécifications provisoires sont proposées, conçues pour faciliter la tâche des concepteurs, fabricants et personnels d'exploitation. Elles sont fondées sur les spécifications élaborées par les organismes de normalisation des fibres optiques et des installations de bord, sur les résultats du projet pilote à bord du brise-glace canadien *Louis Saint-Laurent* et sur les grandes connaissances et la vaste expérience en la matière de Focal Marine Limited.

Les spécifications établies concernent les aspects de l'utilisation marine des fibres optiques qui nécessitent un soin particulier. Dans le cas contraire, les normes applicables aux fibres optiques dans des applications terrestres peuvent servir, la norme E1A-455, par exemple.

Ces spécifications particulières sont données dans le tome II du rapport final intitulé : "Development and Testing of a Fibre Optic Data System for Marine Transportation", TP 8469E. Elles traitent des sujets suivants :

- les câbles,
- les fibres optiques,
- la pose des câbles,
- les émetteurs-récepteurs,
- les coupleurs, y compris les MLO,
- les connecteurs,
- les épissures,
- les boîtiers,
- les accessoires.

9. CONCLUSIONS

L'installation pilote a bien fonctionné, prouvant qu'avec un système bien conçu, la transmission numérique et la vidéocommunication sur fibres optiques à bord de navires sont faisables. Au bout des 14 mois, période d'évaluation de la liaison opto-électronique, aucun des deux types de câble essayés n'a connu de dégradation mesurable, laissant entrevoir une durée de vie utile de plusieurs années.

Aucun lien n'a pu être établi entre les erreurs de transmission et les conditions de vibrations, de températures et de perturbations électromagnétiques, montrant l'aptitude des fibres optiques à fonctionner malgré les rigueurs du service, notamment à bord d'un brise-glace.

Mais il demeure que la température de fonctionnement des émetteurs et récepteurs optiques doit être maintenue à l'intérieur d'une plage précise. Comme on s'en doutait, la puissance lumineuse des émetteurs baisse aux températures élevées. C'est pourquoi, la régulation de la température des émetteurs est nécessaire afin de minimiser le bruit d'origine thermique dans des conditions de gain élevé et de signaux faibles.

Il faut aussi fixer la marge énergétique à un niveau qui soit supérieur au seuil de détection du photodétecteur, cette constatation ayant été faite lorsque la liaison opto-électronique a été utilisée à un flux énergétique réduit.

Des deux longueurs d'onde utilisées, c'est la plus courte (850 Nm) qui a donné les meilleurs résultats, l'autre longueur d'onde (1 300 Nm) nécessitant des constituants plus coûteux et imposant des contraintes plus sévères sur les dispositifs de raccordement en raison du budget énergétique mis en oeuvre qui est plus faible. Mais il est possible de fonctionner à plus d'une longueur d'onde grâce à des constituants répandus sur le marché.

10. RECOMMANDATIONS

La principale recommandation concerne les spécifications provisoires élaborées. Ainsi, il est proposé de les réexaminer, de les modifier selon les besoins et de les faire adopter par l'industrie maritime canadienne. Celle-ci pourra également s'en inspirer pour exploiter plus à fond les avantages offerts par la technologie des fibres optiques. Pour cela, des contacts directs avec les organismes de normalisation de divers autres pays sont à recommander car ils sont susceptibles d'apporter des raffinements aux spécifications proposées.

Il est également recommandé d'utiliser le système installé à bord du *Louis Saint-Laurent* au maximum de sa capacité. Étant donné qu'une capacité vidéo accrue est souhaitable, on pourrait remplacer la voie de transmission numérique par une seconde voie de vidéocommunications lorsque les dispositifs IEEE-488 ne sont pas utilisés à bord. Ou bien, ou en plus, on pourrait développer un bus à faible débit en fibres optiques pour raccorder les divers capteurs au bus grand débit en vue de l'affichage des données ailleurs.